

(参考) 底質試験方法

1. 底泥溶出速度試験

底泥溶出速度試験とは底質からの汚濁質の溶出の実態を把握するために実施する。底泥に含有された汚濁物質が水中に溶出する過程を実際の水域環境に近い条件下で再現し、汚濁物質の溶出速度を測定することを目的とする。さらに、底泥の除去効果、覆砂等の底質改善効果の判定に適用される。

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版、一般社団法人 水底質浄化技術協会、平成 28 年 3 月（以下、「底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版」と示す。）

備考：底層環境改善には覆砂以外に、深層曝気、深層高酸素水注入、化学処理剤散布等がある。

注）本資料は、「底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版（一般社団法人 水底質浄化技術協会、平成 28 年 3 月）の「第 3 章 富栄養化対策調査 第 4 節 栄養塩類溶出試験（窒素、リン）」に参考にして作成したものである。この資料に準拠した事項については、「底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版」と記載している。

なお、「底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版」では、溶出試験方法は室内試験の「カラム溶出試験」としているが、近年溶媒水を流水式で試験している方法、現地試験方法も採用されていることから、これらの試験方法についても記載した。（この資料では、「底質の調査・試験マニュアル 第四版」の「カラム溶出試験」を「バッチ式」、溶媒の流水式の溶出試験を「連続式（流水式）」と表記している。）

(1) 試験計画

試験計画は、事業の適正管理と事業実施に区分して記述する。

1) 調査頻度（調査回数）

表 1.1 事業区分と調査回数

事業区分	適正管理の目的	調査回数	備考
① 事業の適正管理	現状把握、汚濁の監視	季節毎に 1 回：年 4 回	状況に応じ、夏季、冬季の 2 回とすることも可
	水質汚濁機構解明、生態系保全	目的に応じて適宜設定	必要に応じ、毎月等もありうる。
② 事業実施	事業実施の効果評価	事前と事後を各 1 回、合計 2 回以上実施	事業の内容に応じ、適宜経過追跡等を加える

2) 調査地点

表 1.2 事業区分と調査点数

事業区分	数量	位置	備考
① 適正管理	・管理対象範囲を代表させる 3 点	・汚濁の進行している箇所 ・汚濁の進行していない箇所 ・両方を選定する	・事前情報（底泥の汚濁状況：含水比、強熱減量、COD、窒素、リンの含有量分布状況）があれば活用する。 ・事前情報がない場合は、含有量の分布状況を把握してから調査点の選定を行う。 ・分布状況の把握には、管理対象範囲に予備調査点を均等に配置し、事前情報を得るものとする。
② 事業実施	・事業実施範囲を代表させる 3 点	同上	同上

(2) 試験方法

1) 室内試験

① 底泥溶出速度試験の試料採取方法について

底泥からの溶出実態調査における試料の採取は、底泥と直上水を柱状試料として同時に採取する。採取方法は、潜水土がアクリル製カラム（20cmφ×100cmH）を持って潜水し、表層泥を攪乱しないようにカラムを泥中に約 30cm 貫入し、直上水（約 70cm）とともに採取し、船上へ持ち上げる。

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

備考：アクリル製カラム（20cmφ×100cmH）を用いる場合は潜水土による採泥が必要であるが、現地状況により、10cmφ×50cmH のカラムを用い、重力式の柱状採泥器で試料採取が可能である。この場合の直上水は約 25cm 程度となる。

試料採取としては、以下の二つの方法がある

- a. 不攪乱試料（底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版記載）
柱状採泥（コアサンプリング）を実施する。
- b. 混合試料
グラブ式（エクマンバージ型等）で採泥し、各調査点の試料を混合する。

② 底泥溶出速度試験の底泥試料について

- ・底泥厚さ 30 cm
試料の厚さは 30 cm を標準とする。
- ・直上水厚さ 50～70 cm
直上水の厚さは 50 cm～70cm を標準とし、最小厚さを 50cm とする。

・底泥厚さ 30 cm

底泥中に含まれる汚濁物質は一般に表層で最も濃度が高く、深層行くほど減少する。汚濁物質の含有量は泥深方向に一定でないので、試料の厚さによって溶出量が変化する。

図 1.1 は T-P の溶出速度と底泥厚さの関係を示す一例である（中海）。底泥厚が薄いと溶出量は少ないが、厚さが増すにつれて増加する。しかしある厚さになると溶出速度は収れんし一定となる。この厚さが 30～40cm であるので試料の厚さの標準厚さは 30cm と定めたい。

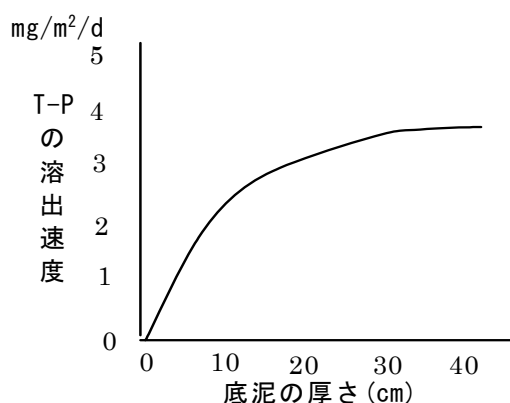


図 1.1 底泥厚さと T-P の溶出速度との関係

・直上水厚さ 50～70cm

直上水の汚濁物質の濃度（平均値） C （ mg/m^3 ）と溶出速度（ mg/m^2 ）及び直上水の厚さ H （ cm ）の関係式を以下に示す。

$$C=R/H \cdots \cdots (A)$$

C ：直上水の汚濁物質濃度（ mg/m^3 ）

R ：溶出速度（ mg/m^2 ）

H ：直上水高さ（ m ）

上記の式より直上水が厚くなると、汚濁物質の濃度が小さくなることが分かる。したがって、あまり直上水を厚くすると、濃度が分析限界（定量限界）以下の値となり、分析が不可能となる。また、直上水厚さをあまり薄くすると、サンプリングによる水位低下が問題となる。したがって、直上水の最小厚さは50cmとする。

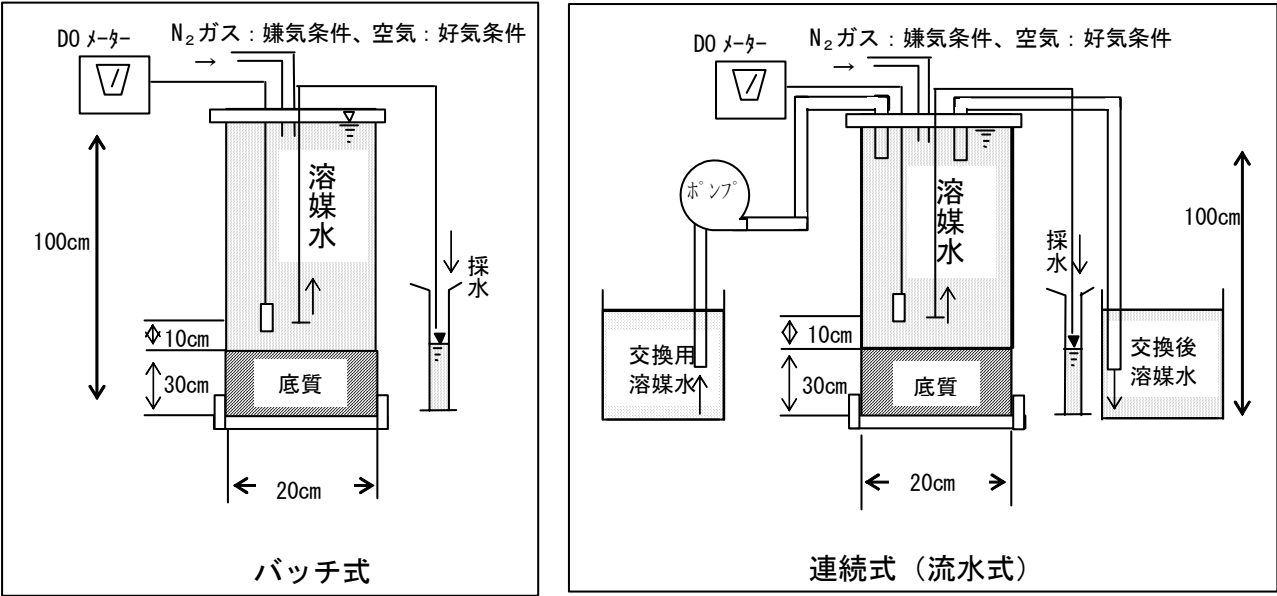
直上水の個別採取の場合、直上水をそのまま溶出試験に用いると、試験中に懸濁物質の沈降によって溶出速度が十分に把握できない場合があるので、このような時には直上水をあらかじめ1μmのフィルターでろ過したものを使用する。

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

③ 試験条件

a. 装置方式（バッチ式（大型・小型）、連続式）

バッチ式を基本に、連続式も交えて、目的に応じ選定する。



試験装置

表 1.3 溶出実験装置の供試試料設定条件の要素

供試泥の設定条件	溶媒水の設定条件	
	バッチ式	連続式
静置式	○	○
攪拌式	○	○

・ 供試泥の設定条件

供試泥の設定条件には、供試泥を乱さない静置方式と、供試泥を乱す攪拌方式がある。
攪拌方式は底泥の攪乱を想定したものが含まれ、浅い湖沼で懸念されてきている底泥の風波等による巻き上げ現象とこれによる溶出現象を想定したものとなる。

・ 溶媒水の設定条件

溶媒水の設定条件には、溶媒水を動かさないバッチ式と、溶媒水を流動させる連続式がある。

連続式は溶媒水を流動させることで、バッチ式より現況に近い試験が可能となる。

ア. バッチ式

バッチ式とは、試験装置の図に示したように、溶媒水の追加、交換を行わない方式である。そのため、溶媒水は、採水毎に減少するのが一般的である。従来最も多く用いられてきた試験方法である。

イ. 連続式

連続式とは、試験装置の図に示したように、溶媒水を常に交換しつづける方式である、そのため、流水式とも呼ばれ、溶媒水は、採水時に一時減少するが、常に追加されるため、一定時間後には初期量へ回復する。

b. 試験規模

試験規模は下表に示した通りである。バッチ式を基本に、連続式も交えて、目的に応じ選定する。

表 1.4 底泥溶出速度試験の試験規模による比較

	バッチ式・連続式
底泥表面積	直径 20cm：面積 314cm ²
底泥厚	30cm
溶媒水高さ	70cm

ただし、直径 10cm、高さ 50cm のアクリルパイプで実施の場合、

- ・ 底泥表面積：78.5cm²
- ・ 泥厚と溶媒水高さ：25cm となる。

c. 溶媒水

溶媒水は下表に示したとおり。

現地水、蒸留水を基本に、目的に応じ選定する。

表 1.5 底泥溶出速度試験の溶媒水による比較

溶媒水の種類	特 徴
現 地 水	現地状況を微小生物(プランクトン等)を含め反映させる
現地水をろ過	現地状況を反映させるが、微小生物(プランクトン等)の影響は除く
蒸 留 水	現地状況より、条件の統一を図る
蒸留水+α	ミネラル分や栄養分を同一条件で添加して溶出への影響をみる

d. 試験設備

底泥溶出速度試験の設備について

1. 試験カラム	2. 恒温槽または恒温室	3. 採水管	4. DO 計（溶存酸素計）
5. 散気装置	6. 空気・窒素ポンベ	7. O P R 計	8. 攪拌装置

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

試験設備は下表に示したとおり。

表 1.6 底泥溶出速度試験用の試験設備による比較

試験設備の役目		設備	長所／短所
底泥試料採取と 実験装置の本体		試験カラム(アクリル製)	サイズの自由度が高い/傷つき易い
実験 条件 管理	温 度	恒温槽	安価/恒温室より安定性に欠ける
		恒温室	恒温槽より安定/高価
	好気・嫌気状態	空気、窒素ポンベ・散気装置・攪拌装置	—
	実験条件の監視	計測機器 ①DO 計 ②ORP 計 ③温度計(サーミスター)	—
	連続式の 溶媒水圧送	定量圧送ポンプ	バッチ式には不要/連続式にのみ必要
溶媒水試料採取		採水装置	—

e. 温度条件（底泥溶出速度試験の温度条件について）

標準水温の 20℃で試験を行うのが望ましい。

溶出速度は水温によって大きく変化する。1 例を図 1.2 に示す（中海）。

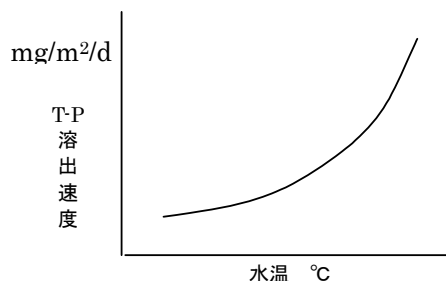


図 1.2 水温と T-P の溶出速度との関係

この場合の温度の影響は次式で表すことができる。

$$R \text{ (溶出速度)} = R(T) = R(20^{\circ}\text{C}) \alpha^{T-20} \dots \dots \dots (B)$$

$$\alpha = 1.11$$

いま仮に水温 10℃と 25℃の溶出量は、 $\alpha^{25-20} \div \alpha^{10-20} = 4.7$ 倍の違いが生じる。このことが湖沼で顕著に現われる水質の夏季ピークという現象の原因をなすもので、非常に重要な事柄である。

このように水温の影響が大きいので、試験時の水温を明記しなければならないが、標準水温の 20℃で試験を行うのが望ましい。

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

温度条件は下表に示したとおり。温度、酸素条件の管理は必須である。

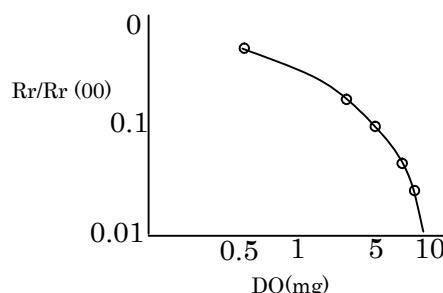
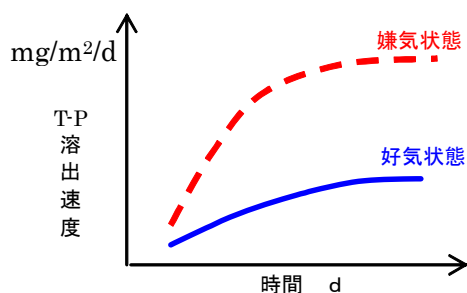
表 1.7 底泥溶出速度試験の温度条件による比較

温度条件	特 徴
標準水温	20℃
現地水温	現地状況を反映させる
夏季の水温	溶出速度が最も速いと考えられる夏季の水温で試験する (高水温と成層による表層からの酸素供給の低下)
冬季の水温	溶出速度が最も遅いと考えられる冬季の水温で試験する

f. 酸素条件（底泥溶出速度試験の酸素条件について）

溶出試験は嫌気状態で行う性格のものである。

底泥からの溶出という現象は好気条件では殆ど行われず、嫌気雰囲気下で活発に行われることはよく知られている。したがって溶出試験は嫌気状態で行う性格のものである。この場合の嫌気状態というのは、DO 濃度が 1mg/L 以下をさす。



好気と嫌気下における溶出量の関係

リン溶出速度に及ぼす DO の影響

中海の底質について試験した結果、次のような DO の影響を換算する式が、求められている。

$$r = R(DO=0.5) e^{-0.5(DO-0.5)} \dots \dots \dots (C)$$

$R = T-P$ の溶出速度 $[mg/m^2/d]$

$R(DO=0.5)$ DO=0.5 のときの $T-P$ の溶出速度 $(mg/m^2 \cdot d)$

DO : 溶存酸素濃度 $[mg/L]$

例えば、DO=5mg/L の時、溶出速度は嫌気状態の時の約 1/10 の値になる。 $T-N$ については同様に基礎実験を行い、DO の影響を別途求める必要がある。

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

酸素条件は下表に示したとおりであり、酸素条件の管理は必須である。

表 1.8 底泥溶出速度試験の酸素条件による比較

温度条件	特 徴
現地酸素量	現地状況を反映させる。
好気条件	溶存酸素量 (D0) > 3mg/L で実施。 水深の浅い (6m 未満、例：霞ヶ浦、諏訪湖) 湖沼では年間ほぼ好気条件と考えられる。 なお、現地湖底層の D0 最低値が事前情報としてある場合は、これを下限として実験条件を設定する。 水深が深く成層化する湖沼では、成層が壊れる循環期 (秋季、冬季) に発生する条件。
嫌気条件	溶存酸素量 (D0) < 1mg/L で実施。 水深の浅い (6m 未満) 湖沼では局所的にしか発生しない。 水深が深く成層化する湖沼では、主に成層期 (夏季) に発生する条件。

g. 底泥溶出速度試験の酸化還元電位測定について

底泥溶出速度試験では直上水の酸化還元電位測定を行う。

溶出が行われる雰囲気は嫌気性か好気性かは、直上水の溶存酸素濃度 D0 の如何によって決まる。もう 1 つの表し方に直上水または底泥中の間隙水が酸化状態にあるかあるいは還元状態にあるかという酸化還元電位 ORP という尺度を用いることがある。

ORP (E) は、次式のように定義される。

$$\text{ORP (E)} = E_0 + 1.98 \times 10^{-4} \cdot T \log [\text{Ox}] / [\text{Red}] \dots \dots \dots (\text{D})$$

E : 酸化還元電位 [V]

E₀ : 標準還元電位 [V]

白金電極と水素電極の標準状態 (15℃) おける値は 15V である。

T : 絶対温度 [° K]

[Ox] : 酸化物質の濃度 [mole/L]

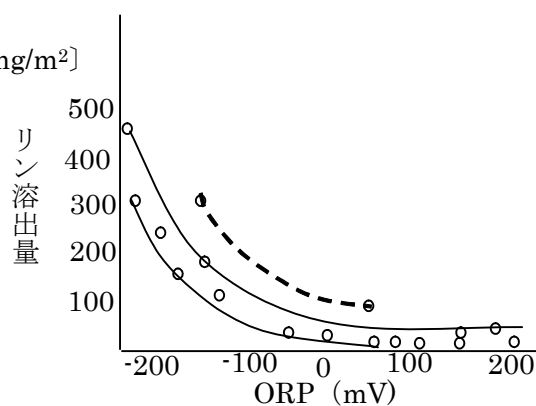
[Red] : 還元物質の濃度 [mole/L]

上式から水中の酸化物質濃度が高くなる、すなわち酸化状態になると、ORP は増大する。また、水中の還元物質が高くなる、すなわち還元状態になると ORP が減少することになる。

底質の ORP と T-P の溶出速度との関係を示すと右図のようになる。ORP が負の値 (還元状態) では、リンの溶出量は大きくなり、ORP が正の値 (酸化状態) になるにつれて (リンの溶出量は) 小さくなる。

以上のように、ORP の測定により水中の酸化、還元状態を定量的に判断できると同時に、これと強い相関関係を持つ汚濁物質の溶出速度を推定することもできるので、ORP は溶出試験の一つの補完資料となる。

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版



ORP とリン溶出量の関係

h. 試験期間(底泥溶出速度試験の試験期間等について)

初期条件の設定が整った日を0日とし、1、3、5、7、10、15、20日の各測定日に採水を行う。

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

試験期間は下表に示したとおり。

表 1.9 底泥溶出速度試験の試験期間

試験期間 (○日目)	0	1	2	3	4	5	6～9	10	15	20
採水日：● 試料採水	●	●		●		●		●	●	●
観測日：▼ 機器測定	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼

機器測定項目：水温、DO、ORP

状況モニタリング：底泥表面の状態観察

i. 採水点及び採水量

採水はサイフォン管により直上水を攪乱しないように行う。採水点は直上水表面下10cmと底泥表面上10cmの2か所とし、分析値は上記2か所の平均値とする。

採水量は各分析項目に必要な採水量の合計以上の量となるか、採水による直上水水位低下を防止する意味で採水量はできるだけ減らすことが望ましい。例えば、窒素、リンでは自動分析計を用いることで採水量を大幅に減らすことができる。

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

●供試泥を攪乱させる溶出試験について

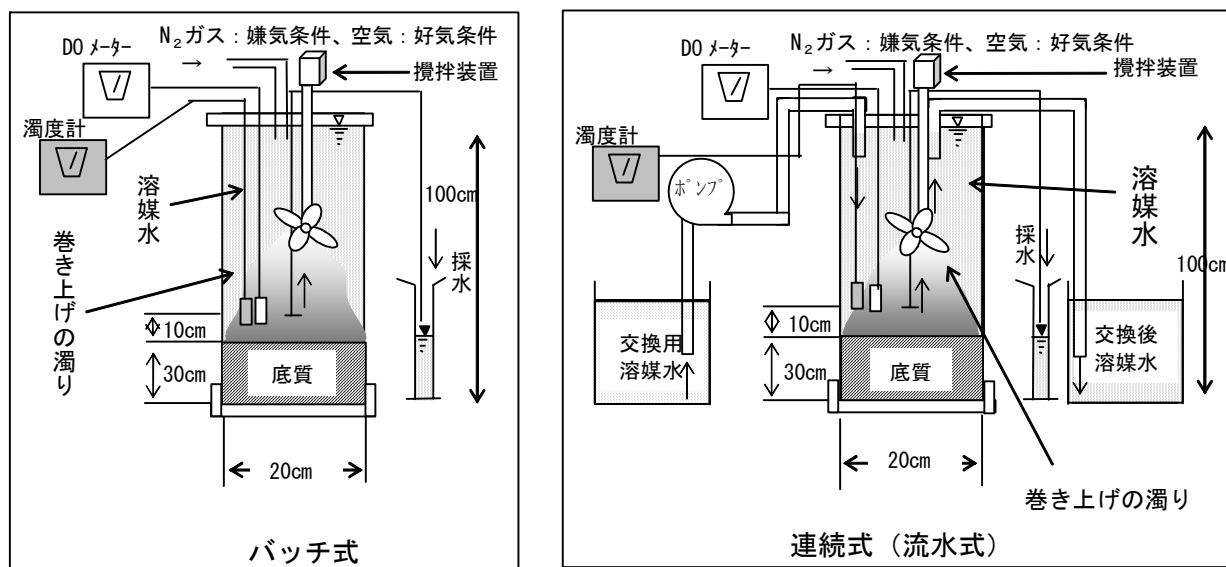
・供試泥を攪乱させる溶出試験の必要性

従来溶出速度の評価のため実施されてきたのは、静置式（底泥の攪乱を含まない）による溶出実験であった。しかし、水深の浅い（6m 未満程度）湖沼では、底泥の巻き上げ現象に伴う溶出現象が湖水に及ぼす影響が、静的な溶出現象と同等以上の割合を持つ可能性があるとして想定され、巻き上げによる溶出現象を溶出速度の評価に加える必要がある。底泥の巻き上がり現象による溶出を評価する試験方法の一つとして、攪拌式溶出実験（底泥を攪乱させた溶出実験）がある。

・バッチ式と連続式

供試泥を攪乱させる溶出実験は、試験が容易なためバッチ式で行われる例が多い。これに対し、連続式では溶媒水が流れ去るため供試泥量が有限の室内実験では、試験中の巻き上がり状態を安定させることは困難であるが、より現況に近い巻き上げを再現出来るのは連続式と考えられる。

以下にバッチ式と連続式の試験装置の図を示した。



試験装置

・装置概要

バッチ式、連続式とも、従来の静置式の実験装置に攪拌装置と濁度計を追加している。濁度計は、巻き上げの程度を多段階で実施するための目安として用いる。

・実験要領

現地の巻き上げ現象（濁度、SS 値）の最大値や平均値について、事前情報があれば、これに基づき巻き上げ実験の濁度範囲を設定する。実際の実験では、濁度計を目安に巻き上げを多段階で発生させ、このときの溶媒水を採水分析する。

2) 現地試験

① 試料採取方法

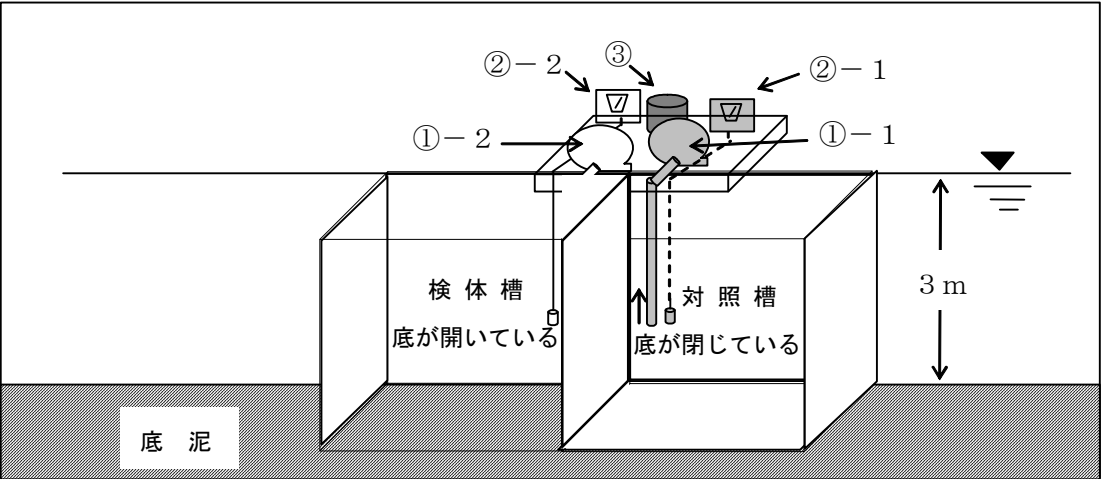
a. 隔離水界

現地に隔離水界を設け、底泥に接するものとししないものを比較する。

隔離水界は、浅い湖沼（水深 3m 未満）に適用する。

b. 現地設置型溶出実験装置

チャンバー型の現地設置型溶出実験装置を用いて、底泥に接するものとししないものを比較する。



隔離水界

凡 例	
①-1	対照槽用採水用ポンプ
①-2	対照槽用採水用ポンプ
②-1	対照槽用 DO メーター (DO・水温)
②-2	検体槽用 DO メーター (DO・水温)
③	現地データ記録計 (データロガー)

●直列多槽式溶出測定装置について

【直列多槽式溶出装置による霞ヶ浦隔離水界実験における底泥からの栄養塩溶出測定】

・装置の構成：

本装置は、チューブで連結された検体槽、対照槽、ろ過槽の三つの部分からなっている。

・検体槽：

通常のベルジャーと同じように底部が開いたアクリル製容器で、内径 29.6cm、厚さ約 20cm、内容積は約 13.76L である。この容器は底泥上に被せて底泥からの溶出を測定する。検体槽には試料採取用のチューブが取り付けられていて地上で採水が出来る。

・対照槽：

対照槽検体槽と同様の容器であるが、底部は蓋で閉じられていて、底泥の影響を受けない。対照槽は検体槽と直接チューブで連結されるとともに槽内水採取のためにチューブが取り付けられている。

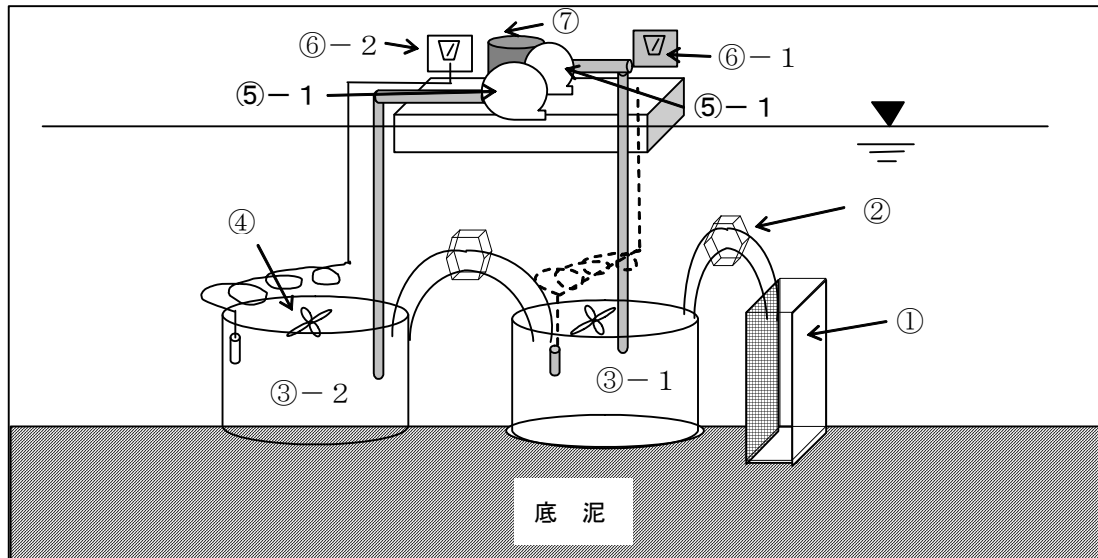
・ろ過槽：

ろ過槽は対照槽とチューブで連結されていて、外界の直上水をろ過しながら対照槽や検体槽に連続的に取り入れるためのフィルターをつけた開口部があり、対照槽とチューブで連結されている。

・その他の機構：

本装置には、検体槽、対照槽から試料を採取する際に槽間の逆流を防ぐため、検体槽と対照槽の間、対照槽とろ過層の間に逆止弁が設けられている。また各槽内水質を均一に保つため槽上部に攪拌子を有する。

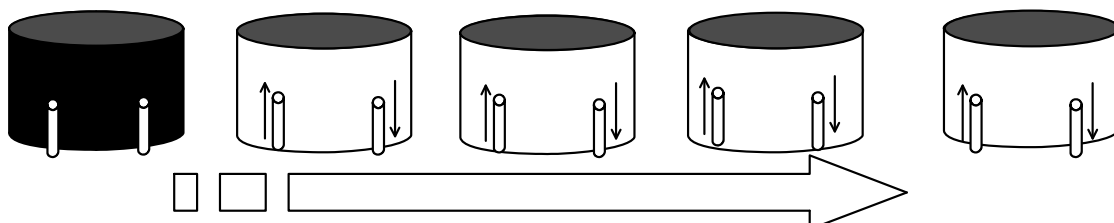
出典：木幡邦男ほか、霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会講演報告集、1997 年



チャンバー型現地溶出実験装置

木幡（1997）による

凡 例			
①-1	ろ過装置（2mm メッシュ） 大型プランクトン、小魚の進入防止	⑤-1	対照槽用採水用ポンプ
②	逆止弁	⑤-2	検体槽用採水用ポンプ
③-1	対照槽	⑥-1	対照槽用 DO メーター（DO・水温）
③-2	検体	⑥-2	検体槽用 DO メーター（DO・水温）
④	攪拌子	⑦	現地データ記録計（データロガー）



対照槽、検体槽の溶媒水入れ替わり模式図

1. 採水時の試料分取は、ホース内の残量分が排出されたことを確認してから行う。
2. 採水後の槽内水交換の確認は、
 - ① チャンバー内の残量分が排出されたことを確認し、
 - ② ①の後 DO 値をモニタリングし、DO の上昇が止まるタイミングを待って、行う。

② 試験条件

a. 装置方式（隔離水界装置、現地設置型溶出実験装置）

採取方法と同一

b. 装置規模

表 1.10 装置規模の比較

区分	隔離水界装置	現地設置型溶出実験装置
装置規模	装置の仕様による。 3m×3m～10m×10m	装置の仕様による。 先の例では対照槽、検体槽とも約 14L。

c. 溶媒水

現地の底泥直上水（底泥を移動せずに実施できる）

d. 試験設備その他条件（温度条件、酸素条件）

隔離水界と現地設置型溶出実験装置の試験設備は、次表のとおり。

表 1.11 隔離水界と現地設置型溶出実験装置の試験設備

試験設備の役目		設 備	長所/短所
実験装置本体		隔離水界装置	規模拡大により実態に近い情報が得られる /費用が高価・深い水深では実施出来ない
		現地設置型溶出実験装置	小型で多数設置可能/費用は高価
実 験 条 件 管 理	温 度	現地条件による（夏季）	—
	好気・嫌気状態		—
	実験条件の監視	計測機器 ①DO 計（DO と水温） ②現地データ記録計（データロガー）	—
	溶媒水と底泥	溶媒水と底泥は、隔離水界、溶出 実験装置とも現地水、現地底泥	溶媒水、底泥とも採取が不要／現地条件の バラツキがそのまま反映される
	溶媒水試料採取	採水装置（ポンプ）	—

e. 試験期間

隔離水界装置：0、1、3、5、7、10、15、20 日で採水。

現地設置型溶出実験装置：チャンバー内滞留時間は通常一日単位で、毎回採水。

(3) データまとめ

1) 分析項目毎の整理（底泥溶出速度試験の分析項目について）

分析項目は、溶出する汚濁物質として T-N、T-P、COD、溶出に影響する因子として、pH、DO、ORP 等を基本とする。必要に応じて、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 等を分析することが望ましい。

溶出試験の測定期間は約 20 日間を標準とし、試験終了後、底泥の外観、含水率、ORP、COD、T-P、T-N 等を分析する。

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

○分析項目の実施の主旨と実施の区分（モニタリングと採水分析）

- ・モニタリング項目は、試験の安定性や、酸化還元状態の変化を確認するため、試験の期間中毎日実施する。現地測定では、採水時のみ測定するか、自動測定器を設置し、モニタリングする。
- ・採水分析項目は、採水予定日 0、1、3、5、7、10、15、20 日に採水し分析する。
分析項目には、COD に加え、有機炭素量の測定を行う場合は TOC を実施するのが望ましい。

表 1.12 分析項目の主旨と実施の区分

項目名	直上水		試験泥	備 考
	モニタリング項目	採水分析項目	分析項目	
外観			■	試験開始前・後の変化
含水率			■	試験開始前・後の変化
水温	●			試験の安定性確認
pH	●			水素イオン濃度の確認
DO	●			酸素消費状況確認
ORP	●		■	酸化還元状態のモニタリング DO のみの監視では把握できない。 DO が 0mg/L 未満の状況 ORP を測定することで把握できる。
COD		▼	■	有機物量の目安
TOC		▼		全有機炭素
T-N		▼	■	窒素の総量
D-T-N		▼		溶存態窒素 (T-N) - (D-T-N) で P-T-N (懸濁態窒素) を求めるため
$\text{NH}_4\text{-N}$		▼		還元状態が進むと増加
$\text{NO}_2\text{-N}$		▼		硝化の途中生成物として
$\text{NO}_3\text{-N}$		▼		酸化状態が進むと増加
T-P		▼	■	リンの総量
D-T-P		▼		溶存態リン (T-P) - (D-T-P) で P-T-P (懸濁態リン) を求めるため
$\text{PO}_4\text{-P}$		▼		還元状態が進むと増加

2) 溶出速度算出用データ

溶出速度算出用データは試験方式毎に下表のようになる。

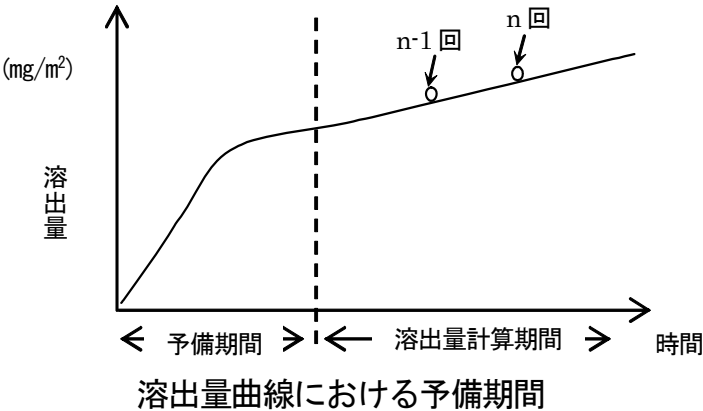
表 1.13 試験方法の区分と溶出速度算出用データの関係

試験方法の区分 データ種類	室内試験		現地試験	
	バッチ式	連続式	隔離水界	現地溶出実験装置
各項目の溶媒水濃度	●	●	●	●
底泥表面積	●	●	●	●
溶媒水の交換率		●		
溶出量算定期間	●	●	●	●

3) 溶出速度の算定（底泥溶出速度試験の溶出量（mg/m²）の算出について）

- ・溶出量の計算は安定した溶出曲線の部分で行う。
- ・溶出速度は溶出量曲線の勾配を意味する。

汚濁物質の濃度変化を線図に表すと、程度の差はあれ、予備期間が当初現われ、それ以後安定した溶出過程に入る。溶出量の計算はこの安定した溶出曲線の部分で行う。



採水したサンプルについて、各汚濁物質の濃度を測定し、溶出量を算出する。算出にあたっては、サンプリングにより直上水が減少しているのを、これを補正した次式によって、0 回目から n 回目の採水時までの溶出量が求められる。

$$R = \Sigma (V - \Sigma V_{n-1}) (C_n - C_{n-1}) / A \cdots \cdots (E)$$

R : 溶出量 (mg/m²)
V : 初期の直上水量 (L)
V_n : n 回目の採水量 (L)
C_n : n 回目の濃度 (mg/L)
A : 底泥断面面積 (m²)

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

4) 溶出速度 (release rates) の算出

溶出試験の結果は最後に溶出速度で整理する。これは底質の表面から1日当り、単位面積当り、何 mg の溶出物質が出てくるかを表わす指数 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$) である。これは、溶出量の経時変化である溶出量曲線の勾配を意味する。

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

各試験方式の溶出速度の算定方法を下表に示す。

表 1.14 溶出実験方式による溶出速度算定方法の比較

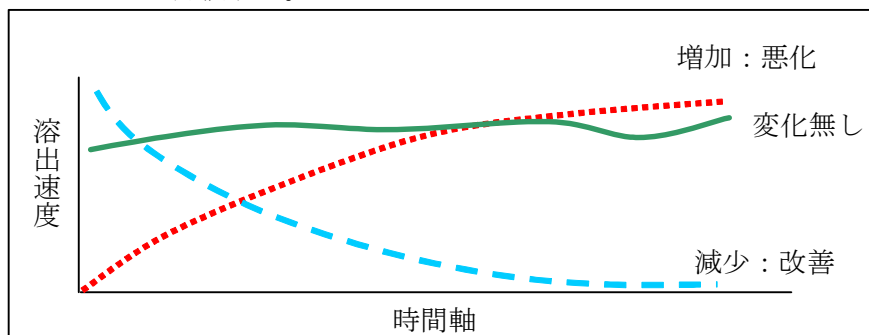
試験方式①	試験方式②	溶出速度算定方法	備 考
室内試験	バッチ式	溶媒水濃度 (終値 - 初期値) × 溶媒水量 / 算定期間日数 / 底泥表面積	初期の不安定な増加カーブを除き、安定した部分のカーブを算定期間に採用する。
	連 続 式	溶媒水濃度 × 溶媒水量 × 溶媒水回転率 / 底泥表面積	溶媒水濃度が安定した期間の平均濃度を用いる。
現地試験	隔離水塊装置	溶媒水濃度 (終値 - 初期値) × 溶媒水量 / 算定期間日数 / 底泥表面積	初期の不安定な増加カーブを除き、安定した部分のカーブを算定期間に採用する。
	現地設置型 溶出実験装置	溶媒水濃度 × 溶媒水量 / 算定期間日数 / 底泥表面積	設置期間を変えて求めた溶媒水濃度の変化から、算定期間を勘案する。

(4) 結果評価

1) 事業の適正管理

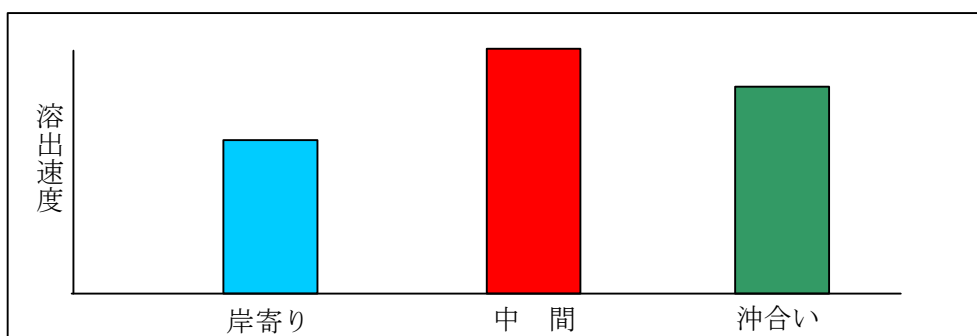
① 経時的傾向（悪化若しくは改善）

実施した溶出実験結果を経時的に比較し、環境が悪化傾向であるか、改善傾向にあるか、変化が無いのかを評価する。



② 区域（地点）間の比較

実施した溶出実験結果を地点間で比較し、水域（流域）内の環境条件に差異があるのか無いのかを評価する。



2) 事業実施

事業の実施前と実施後の溶出量を比較して、溶出量の低下状況から事業効果の有無を評価する。

なお、対象事業としては、環境改善事業（浚渫事業）、河川改修事業、航路浚渫事業等があげられる。

表 1.15 事業区分・比較対照事項と効果評価の考え方

事業区分	比較対照事項		効果評価の考え方
浚渫事業	浚渫前	浚渫後	浚渫後に溶出量が低下していれば事業効果有りの評価。
河川改修事業	河川改修前	河川改修後	河川改修後に溶出量が低下していれば事業効果有りの評価

2. 酸素消費速度試験

湖沼及び海域などの水域に長期間にわたって堆積した汚泥の中には多量の有機または、無機の汚濁物含まれている。これらの汚濁物がバクテリアなどの作用によって分解するときに酸素を消費する。このため底層水の貧酸素化が進み、底生生物の生息環境が悪化するばかりでなく、底質からの溶出が促進される。

このように汚濁された底質は酸素を消費するので、海外では sediment oxygen demand（以下「SOD」という。）と称する。また底質の直上水にも汚濁物質やバクテリアが存在するので、水自体も酸素を消費する。これを water oxygen demand（以下「WOD」という。）という。

一般的には、SODの方がWODよりはるかに大きい、底質の酸素消費速度が小さい場合や直上水の酸素消費速度が比較的大きい場合もあるため、WODを測定する場合もある。

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

(1) 試験計画

試験計画は、事業の適正管理と事業実施に区分される（詳細は、溶出速度試験を参考）。

(2) 試験方法

1) 室内試験

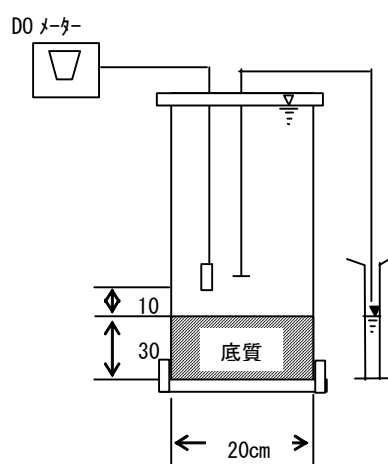
① 試料採取方法

資料採取方法は、溶出速度試験と同様である（詳細は、溶出速度試験を参考）。

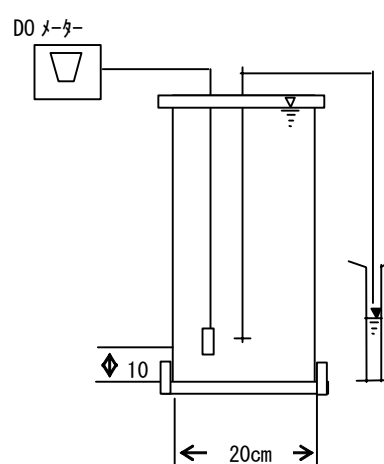
② 試験条件

a. 装置方式（バッチ式）

試験装置はカラムを用いたバッチ式とし、試験を行う底泥を入れた「酸素消費量試験」用と底泥を入れない「コントロール試験」用で構成する。



酸素消費速度試験



コントロール試験

図 2.1 酸素消費試験 試験装置

試験条件は下表に示すとおり。

表 2.1 試験条件

区分	試験条件	設定の意図
温度	20℃	一般条件
	現地水温	現地条件
酸素	直上水表面を流動パラフィン等で封じる	酸素の供給を断つ
底泥	底泥の厚さ：30cm	酸素消費速度算出の パラメーター
	底泥面積：20cmφ → 314cm ² 10cmφ → 78.5cm ²	
直上水	直上水量（底面積、高さ）	採水毎の変化を把握
機器測定 項目	期間 毎時（記録計）	連続測定
	項目 DO（キャリブレーションの分析は実施する）	

備考：溶出実験と並行して酸素消費速度実験を実施する場合は、溶出実験の採水時に DO メーターのキャリブレーション分析を実施する。

2) 試験規模・試験設備

表 2.2 試験規模、設定条件

区分 1	区分 2	仕様・目的
試験規模	試験カラム	10cm～20cmφ × 100cmH
試験設備	恒温槽	20℃の管理
	採水管	採水
	DO メーター	直上水管理

備考：試験カラムは採泥器採取の場合 10cmφ × 50cmH でも実施可能。

3) 試験期間と測定間隔

試験は 10～20 日間で、10～15 回程度の測定を行う。試験の初期には測定間隔を短くする必要がある。直上の溶存酸素（DO）の経時変化は図 2.2 に示すように一般的に 3～5 日間で急激に減少し、それ以降ゆるやかに減少する。

また、直上水の DO が検出されなくなると、S₂-イオンが見られなくなる。

測定間隔としてはおおむね次に示すものが望ましい。

0 日目（試験開始日）、0.5 日、1 日、1.5 日、2 日、2.5 日、3 日、4 日、5 日、7 日、10 日、15 日、20 日

ただし、7 日以降は測定回数を少なくしてもよい。

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

4) 測定項目

測定項目、分析項目は次にあげるとおりとする。

水温、底泥厚さ（m）、DO（mg/L）、S₂-イオン濃度（mg/L）

なお、採水は底泥表面より上部 10cm の位置に採水用ガラス管を取り付け、サイフォンにより採水する。さらに、DO メーターによりモニターする場合には、同じ位置に DO メーターのセンサーを取り付ける。

出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

(3) 現地試験

○現地設置型酸素消費速度実験装置について

チャンバー型の現地設置型溶出実験装置を用いて、底泥に接するものとししないものを比較する。観測間隔は、現地状況に応じて設定する。

装置の詳細は溶出試験に同じであるため、溶出試験を参照する。ただし、現地設置型酸素消費速度実験装置については、直上水を循環させない方式もある。

(4) 結果の整理

底泥単位面積当たりの酸素消費速度は、直上水の溶存酸素濃度（DO）の減少曲線から求められるが、本試験の静置・回分試験では次の2つの補正が必要となる。

- i) 直上水自体の酸素消費量
- ii) 各測定の直上水量の減少

試験装置で求められる溶存酸素の減少量は底質の酸素要求量（SOD）と水の酸素要求量（WOD）との和であるので、SOD を求めるためには予め別途容易した直上水だけの酸素消費試験を行っておく必要がある。しかし、一般的には WOD は小さいので WOD の試験をのぞいて、これを含んだ測定結果を SOD とみなすことが多い。

毎回の測定によって生じる直上水の減少の補正は次式を用いる。

$$SOD = \Sigma \{ (V - \Sigma V_n - 1) (C_n - C_{n-1}) \} / A \cdots \cdots (F)$$

SOD：第 n 回目までの底泥酸素消費量（mg/m²）

A：底泥断面積（m²）

V：初期頂上水量（L）

V_n：n 回目の採水量（L）

C_n：n 回目までの純酸素消費量（mg/L）

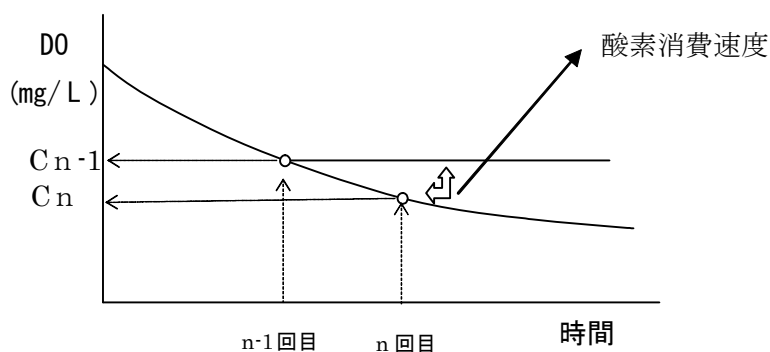


図 2.2 酸素消費試験における溶存酸素（DO）の経時変化

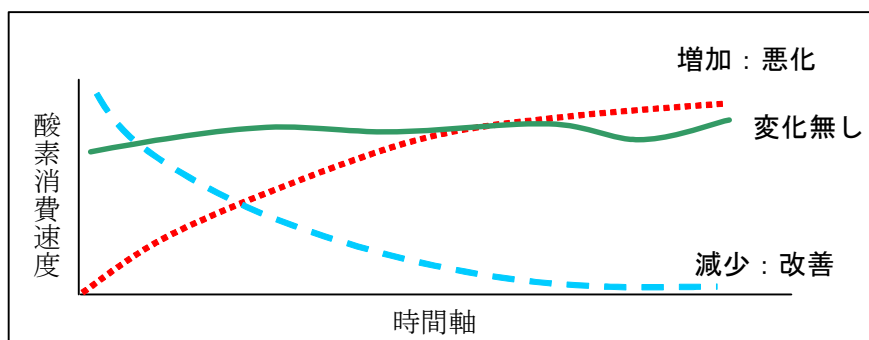
出典：底質の調査・試験マニュアル 改訂第四版

(5) 結果評価

1) 事業の適正管理

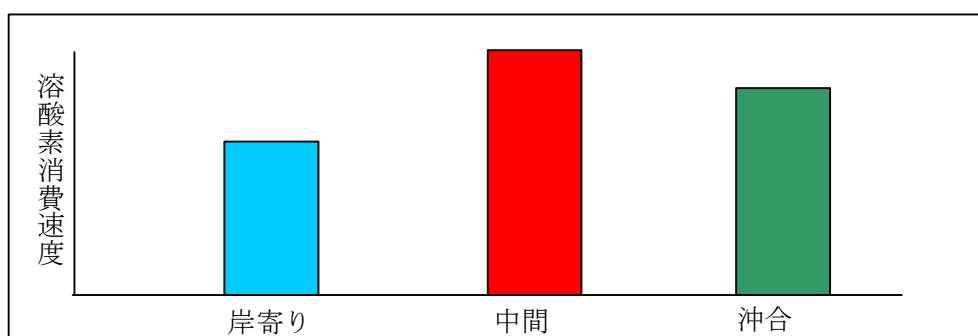
① 経時的傾向（悪化若しくは改善）

実施した酸素消費速度試験結果を経時的に比較し、環境が悪化傾向であるか、改善傾向にあるか、変化が無いのかを評価する。



② 区域（地点）間の比較

実施した酸素消費速度試験結果を地点間で比較し、流域内の環境条件に差異があるのか無いのかを評価する。



2) 事業実施

事業の実施前と実施後の酸素消費速度を比較して、溶出量の低下状況から事業効果の有無を評価する。

なお、対象事業としては、環境改善事業（浚渫事業）、河川改修事業、航路浚渫事業等があげられる。

表 2.3 事業区分・比較対照事項と効果評価の考え方

事業区分	比較対照事項		効果評価の考え方
浚渫事業	浚渫前	浚渫後	浚渫後に酸素消費速度が低下していれば事業効果有りの評価。
河川改修事業	河川改修前	河川改修後	河川改修後に酸素消費速度が低下していれば事業効果有りの評価。

